



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Spejlneuroner

et state-of-the-art review

Anderson-Ingstrup, Jens

Published in:
Dansk Musikterapi

Publication date:
2017

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):
Anderson-Ingstrup, J. (2017). Spejlneuroner: et state-of-the-art review. *Dansk Musikterapi*, 14(2), 3-16.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Spejlneuroner

– et state-of-the-art review

Jens Anderson-Ingstrup, *cand.mag i musikterapi, ph.d. stipendiat, Forskerprogrammet i Musikterapi, Aalborg Universitet.*
Kontakt: jai@hum.aau.dk

Spejlneuroner er en type af neuroner som blev opdaget i makak-abehjernen for mere end 20 år siden. Disse neuroner vagte opsigt, da de både var aktive når aben udførte og observerede handlinger. Siden opdagelsen er spejlneuroner blevet knyttet til forskellige funktioner som empati, imitation, handlingsforståelse samt autismespektrumsforstyrrelse. I dette state-of-the-art review diskuteres disse antagelser med afsæt i nyligt udgivne reviews. Ni artikler blev inkluderet i den endelige analyse. Ifølge disse artikler er der direkte evidens for tilstedeværelsen af neuroner med spejlfunktion i menneskehjernen. Funktionen heraf kendes dog ikke. Evidensgrundlaget for, at spejlneuroner er involverede i empati, imitation og autismespektrumsforstyrrelse, er enten mangelfuldt eller negativt. Der er en vis grad af evidens for, at områder i menneskehjernen, som antages at indeholde spejlneuroner, er involverede i handlingsforståelse. For at styrke teorierne om spejlneuronerens funktion bør fremtidig forskning anvende enkelt-cellemålinger og opstille kontrollerede eksperimenter.

Introduktion

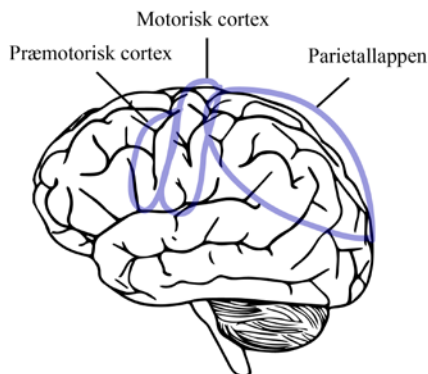
Hillecke, Nickel, og Bolay fra det tyske center for forskning i musikterapi ved Heidelberg Universitet argumenterede i 2005 for, at fremskridt indenfor neurovidenskab er særlig vigtig for musikterapi, som led i at musikterapi bliver en anerkendt, evidensbaseret praksis. Sidenhen har flere studier og artikler belyst sammenhængen mellem musik, musikterapi og hjernen (fx Boso, Politi, Barale, & Emanuele, 2006; Chanda & Levitin, 2013; Koelsch, 2009; Levitin, 2013; O'Kelly, 2016; Särkämö et al., 2014). Disse studier har blandt andet beskrevet, hvordan musik bearbejdes af forskellige dele af hjernen og i komplekse netværk, samt hvilken indflydelse

musik har på udskillelsen af neurotransmittere og hormoner, som kan spille en rolle for adfærd såsom tænkning, motivation, socialisering, humør, bevægelse samt funktionen af immunforsvaret. Disse resultater er relevante for det musikterapeutiske felt, da de kan give forklaringer på, hvorfor musikterapi er en effektiv behandlingsform i mange henseender.

Selvom hjerneforskningen kan føre til vigtige resultater for bl.a. musikterapi, så kan den øgede opmærksomhed på neurovidenskaben også medføre nogle udokumenterede antagelser. Fx at mennesker kun bruger 10% af hjernen, at den ene hjernehalvdel er musisk og kreativ og den anden er systematisk og logisk, samt at nogle mennesker er

mere 'højrehjernen' end 'venstrehjernen' og omvendt (Christodoulou & Gaab, 2009; Jarrett, 2015). I tråd med dette er det relevant at nævne *spejlneuroner*, som ifølge Jarrett (2012) er det formentlig mest hypede koncept inden for neurovidenskaben. Anført af forfattere som neurolog V. S. Ramachandran (2011) og psykiater J. Bauer (2006) er spejlneuroner blevet koblet sammen med empati, imitation og autismespektrumsforstyrrelse (herefter ASF). Teorierne møder dog modstand fra flere forskere (Christodoulou & Gaab, 2009; Hamilton, Brindley, & Frith, 2007; Jarrett, 2015; Southgate & Hamilton, 2008). Eksempelvis kritiseres Ramachandran og Bauer for at præsentere ensidige og spekulative teorier om spejlneuroner ud fra et manglende videnskabeligt grundlag. Derudover er der flere, som kritiserer forskningsresultater angående tilstedeværelsen af spejlneuroner i menneskehjernen. Det skyldes, at de fleste studier anvender scanningsmetoder, som ikke er specifikke nok til at kunne skelne mellem enkeltneuroner. For at kunne registrere spejlneuronsaktivitet er det nødvendigt at foretage direkte målinger af enkeltneuroner, men da dette kræver direkte adgang til hjernevævet, er det af etiske årsager sjældent muligt at foretage sådanne præcise målinger på mennesker (Kilner & Lemon, 2013; Lamm & Majdandzic, 2015; Michael et al., 2014; Rizzolatti, Cattaneo, Fabbri-Destro, & Rozzi, 2014).

Mange af de funktioner spejlneuroner sættes i relation til, så som basale kommunikations- og interaktionsevner, er også fokus for musikterapeutisk arbejde, hvorfor det kan være nærliggende at forstå og forklare musikterapiens virkning ud fra teorier om spejlneuroner. For at undersøge hvad der vides om spejlneuroner vil jeg i denne artikel præsentere resultaterne af et såkaldt *state-of-the-art review*, der adskiller sig fra andre typer re-



Figur 1 Skitse af hjerne (baseret på model fra <http://clipartix.com/brain-clip-art-image-10113/>)

views ved kun at fokusere på nyere forskning. I dette review har jeg indhentet nyligt udgivne forskningsartikler om spejlneuroner med udgangspunkt i følgende spørgsmål: Hvor i hjernen er der spejlneuroner og findes de hos mennesker? Derudover vil jeg fokusere på emner som handlingsforståelse, empati, imitation og ASF, da spejlneuroner hævdes at have en indflydelse herpå.

Inden jeg beskriver metode, præsenterer analyse og diskussion, vil jeg uddybe begrebet 'spejlneuroner'.

Spejlneuroner

Begrebet 'spejlneuron' opstod på baggrund af en undersøgelse foretaget af Pellegrino, Fadiga, Fogassi, Gallese, og Rizzolatti (1992) fra Fysiologisk Institut, Parma Universitet, Italien. Gruppen var i færd med at undersøge den neurale aktivitet på enkeltcelleniveau hos en enkelt makak-abe. Forskergruppen havde fokus på område F5 i præmotorisk cortex, som særligt er involveret i håndbevægelser såsom præcisionsgreb, knytning og iturivning. Her opdagede de at nogle neuroner, som blev aktiveret, når aben udførte

Antal neuroner i hjernen. Det estimeres, at menneskehjernen og makak-abehjernen indeholder hhv. 86 milliarder og 6,4 milliarder neuroner.

cTBS, continuous theta burst stimulation. Er en bestemt type trans-kranie magnetisk stimulation, hvor der udsendes hurtige magnetiske impulser, som kan rettes mod specifikke områder i hjernen. Det skaber forstyrrelser i hjernens forbindelser, hvilket fører til midlertidig nedsat funktion i det pågældende område. På den måde kan der foretages kunstige læsioner i hjernen på forsøgspersoner.

EEG, elektroencefalografi. En metode der måler hjerneaktivitet ved at registrere stigning og fald i elektrisk aktivitet i cortex.

EMG, elektromyografi. En metode der måler på den elektriske aktivitet i muskler.

Eyetracking. Optagelse af en observatørs blik. Kan bruges til at registrere hvad og hvor længe en person ser på noget.

fMRI, functional magnetic resonance imaging. En hjernescanningsmetode som blandt andet er velegnet til at observere, hvor der opstår aktivitet i hjernen i forbindelse med forskellige former for adfærd. Ved hjælp af kraftige magnetfelter måler en fMRI-scanning på mængden af iltindhold i blodet i hjernen. En øget tilførsel af ilt til blodet i et givent område tolkes som øget hjerneaktivitet.

MEG, magnetoencefalografi. En metode der måler hjerneaktivitet ved at registrere ændringer i magnetfelter i neurale netværk.

Motorisk neuron. En neurontype som er aktiv ved motoriske handlinger, fx at bevæge en arm.

MRI, magnetic resonance imaging. En metode som anvender magnetisme og radiobølger til at scanne hjernens struktur.

Neuro-topografisk. En stedbeskrivelse i hjernen. Kommer af topos = sted og graphien = beskrive.

Område F5. En betegnelsen for den del af præmotorisk cortex i makak-abehjernen, som blandt andet er aktiv i forbindelse med hånd- og mundbevægelser.

Parietallap, også kaldet isselappen. Blandt andet er funktioner som den taktile sans og dele af synssansen lokaliseret her.

Præmotorisk cortex. Område i frontallappen, som ligger foran motorisk cortex. Er blandt andet involveret i forberedelsen af bevægelser, hvor motorisk cortex er involveret i selve udførelsen heraf.

Sensorisk neuron. En neurontype som er aktiv ved sensoriske handlinger, fx at se noget.

Spejlneuron. En neurontype som er aktiv både ved sensoriske og ved motoriske handlinger.

TMS, trans-kranie magnetisk stimulation. En metode som muliggør aktivering eller hæmning af corticale områder på vågne personer gennem magnetiske strømme.

(Breedlove & Watson, 2013; Hartwigsen, Kassuba, & Sieber, 2010; Herculano-Houzel, Collins, Wong, & Kaas, 2007; Kolb & Whishaw, 2009)

en handling, også blev aktiveret, når aben observerede et menneske udføre den samme handling. Den konkrete handling var et præcisionsgreb omkring et stykke mad. Disse neuroner adskilte sig derved fra nervesystemets andre typiske neuroner ved at være aktive både ved handling og observation, hvorimod motoriske neuroner og sensoriske neuroner kun aktiveres ved enten handling eller observation (Bjarkam, 2013; Breedlove & Watson, 2013).

Den samme gruppe publicerede sidenhen resultaterne fra en ny undersøgelse, hvor to makak-aber blev undersøgt (Rizzolatti, Fadiga, Gallese, & Fogassi, 1996). Også her blev der foretaget enkeltcellemålinger i område F5, og der blev målt aktivitet i nogle enkeltneuroner både ved udførelse af bestemte håndbevægelser, heriblandt præcisionsgreb, og ved observation af handlingen. Det er i denne artikel, at begrebet 'spejlneuroner' bliver introduceret. Der var flere teorier om disse neuroners funktion, såsom at de var involverede i den neurale forberedelse af handlinger, eller at de var involverede i indlæringen af observerede handlinger. Rizzolatti et al. (ibid.) argumenterede imidlertid for, at deres funktion var at gøre observatøren i stand til at forstå hensigten med den observerede handling. Fænomener som empati og ASF blev ikke knyttet til spejlneuroner på dette tidspunkt.

Metode

For at besvare mine spørgsmål om spejlneuroner udførte jeg et state-of-the-art review. Denne type review adskiller sig fra andre reviews ved at inddrage få og relevante udgivelser inden for en begrænset publikationsperiode (Robson & McCartan, 2016). Et state-of-the-art review anvendes til at finde

frem til den nyeste viden om et givent emne. Der er således ikke så meget fokus på emnets historik og mængden af udgivelser.

Søgningen¹ blev udført d. 16/2/2017 på PubMed. Jeg søgte på den kontrollerede term "Mirror Neurons", hvilket førte til 417 kilder. Jeg tilføjede derefter filteret "Review", hvilket førte til 75 kilder. Derefter tilføjede jeg en datobegrænsning på ca. 6 år (fra 1/1/2011 til 16/2/2017), men antallet af kilder forblev 75. Disse blev importeret i referenceprogrammet Mendeley, hvor kildernes titler og abstract blev screenet ud fra følgende inklusionskriterier:

Inklusionskriterier:

- Primært fokus er på spejlneuroner i forhold til følgende fem emner:
 - (1) Placering i hjernen eller fokus på
 - (2) empati,
 - (3) imitation,
 - (4) ASF eller
 - (5) forståelse for handlinger
- Fokus på primater frem for andre dyr
- Review
- Udgivet inden for perioden 1/1/2011 til 16/2/2017
- Engelsksproget

I screeningsprocessen anvendte jeg desuden Excel til at notere inkluderede og ekskluderede kilder samt grundlaget for eksklusion. Ud af de 75 kilder blev 54 kilder ekskluderet og 21 blev hentet til nærmere screening. Her blev kilderne gennemlæst med henblik på at afdække, hvilket tema den givne kilde omtalte. 14 kilder overholdte inklusionskriterierne.

På dette tidspunkt blev der desuden tilføjet yderligere fire kilder, som var relevante for de fem emner, men som ikke var dukket op i litteratursøgningen. Disse kilder stammede fra

1 En detaljeret oversigt over søge- og sorteringsprocessen kan udleveres ved henvendelse til forfatteren.

Reference	Emne	Tidsskrift
Mukamel et al. (2010)	1	Current Biology
Baird et al. (2011)	2	Social Neuroscience
Gallese et al. (2011)	3 & 4	Perspectives on Psychological Science
Molenberghs et al. (2012)	1	Neuroscience and Biobehavioural Reviews
Hamilton (2013)	4	Developmental Cognitive Neuroscience
Kilner & Lemon (2013)	1	Current Biology
Michael et al. (2014)	5	Psychological Science
Catmur (2015)	5	Consciousness and Cognition
Lamm & Majdandzic (2015)	2	Neuroscience Research

Figur 2

tidligere, ikke-systematiske søgninger, samt anbefalinger fra fagfæller. To af kilderne var reviews, og to var primærstudier.

Nogle af kilderne dækkede flere af de fem emner, så ved gennemlæsning blev kilderne sorteret yderligere for at holde omfanget af analysen og denne artikel nede. Sorteringen skete ved at holde kilderne op mod de førnævnte inklusionskriterier og ved at fravælge titler, hvis andre kilder i samme kategori var mere fokuserede, nyere eller bidrog med mere dybde. Der blev derfor lagt vægt på kvalitet frem for mængde.

Denne sortering førte til inklusionen af følgende 9 artikler: (se figur 2)

Forfatternes faglige baggrund er inden for psykologi og neurologi. Syv af de inkluderede titler er reviews. Undtaget herfra er Mukamel et al. (2010) og Michael et al. (2014), som begge er primære forskningsstudier.

Analyse

Artiklerne blev gennemlæst med udgangspunkt i at udtrække information som kunne besvare mine spørgsmål, som blev nævnt i introduktionen. Analysen vil derfor om-

handle følgende fem emner: 1) placeringen af spejlneuroner, 2) spejlneuroner og empati, 3) spejlneuroner og imitation, 4) spejlneuroner og ASF og 5) spejlneuroner og forståelse for handlinger.

1. PLACERING AF SPEJLNEURONER

I 2012 udgav Molenberghs, Cunnington, & Mattingley en meta-analyse af 125 fMRI studier, som havde fokus på at kortlægge områder i menneskehjernen, der udviser spejlneuronslignende aktivitet. Forfatterne fandt, at der kan observeres overlap i nogle hjerneområder, når forsøgspersoner observerer og udfører ensartede handlinger. Det inkluderer blandt andet hjerneområderne præmotorisk cortex og parietallappen, som er områder, hvor der er målt spejlneuronsaktivitet hos aber. Endvidere pegede analysen på, at der er overlap i hjernens visuelle cortex og dele af lillehjernen og det limbiske område. Analysen konkluderer ikke, hvilken funktion den observerede aktivitet har for menneskelig adfærd, men fremhæver at områderne associeres med handlingsudførelse og -observation.

Kilner og Lemon (2013) præsenterer i deres review 25 primære forskningsartikler med fokus på den neuro-topografiske placering af spejlneuroner hos makak-aber. Forfatterne valgte udelukkende at inkludere studier med fokus på aber, da det ofte ikke er muligt utvetydigt at lokalisere spejlneuroner hos mennesker. Dette skyldes, at det typisk ikke er muligt at lave enkeltcellemålinger på mennesker, da det kræver direkte adgang til hjernevævet. I stedet anvendes der mindre invasive scanningsmetoder som fMRI. Ved denne og lignende typer scanning er det imidlertid ikke muligt at skelne de enkelte neuroner fra hinanden. Når der måles overlap i hjernen under udførelsen af handlinger og observationen af lignende handlinger, kan det derfor ikke udelukkes, at det er forskellige neuroner der aktive, men som ligger tæt op ad hinanden.

På baggrund af de inkluderede artikler, som primært fokuserede på håndbevægelser, konkluderes det, at der er evidens for tilstedeværelsen af spejlneuroner i makak-abhjernens præmotoriske område F5 samt enkelte steder i parietallappen. Antallet af spejlneuroner observeret i prøveområderne vekslede mellem 18 og 581 neuroner ud af makak-hjernens i alt 6,4 milliarder neuroner. Kilner og Lemon (2013) argumenterer for, at det på baggrund af dette evidensgrundlag ikke er muligt at sige noget om spejlneurons egentlige funktion, udvikling eller tilstedeværelse i menneskehjernen.

Der findes dog ét studie, som er udført af Mukamel, Ekstrom, Kaplan, Iacoboni, & Fried (2010), hvor det har været muligt at foretage enkeltcellemålinger i menneskehjernen. Forskerne havde mulighed for at foretage målingerne på personer med epilepsi, som i den forbindelse skulle have foretaget en operation i hjernen. Forud for operationen havde forskerne mulighed for at måle direkte

på enkeltneuronerne i personernes hjerne. Der deltog 21 patienter og der blev målt på i alt 1177 neuroner. Ud af disse neuroner udviste 8% spejlneuronsaktivitet. De samme neuroner var med andre ord aktive, både når personerne så på en handling og når de selv udførte den. Målingerne blev foretaget i forskellige regioner i frontal- og tindingelappen. Forskerne fandt primært spejlneuroner i dele af det motoriske område (17 neuroner) samt i tindingelappen omkring hippocampus (51 neuroner). Hvilken funktion disse neuroner har blev dog ikke undersøgt i dette studie.

2. EMPATI

Lamm & Majdandžić (2015) diskuterer neurovidenskabelig forskning angående empati og fremhæver forskellige problematikker. De påpeger, at der er evidens for, at lignende hjernenetværk aktiveres, når en person observerer eller føler empati med en anden person, og når personen selv oplever det observerede. Det vides dog ikke, om dette overlap *skaber* empati, er del af et større neuralt 'empati-netværk' eller noget tredje. Endvidere problematiseres det, at forskningen, som ligger til grund for disse data, kun har fokuseret på observationen af fysisk smerte. Det vides derfor ikke, om oplevelse af positive emotioner aktiverer de samme eller helt andre netværk. Selve teorien om, at spejlneuroner er årsagen til, at mennesker kan føle empati, kan virke indlysende. Ifølge Lamm og Majdandžić (2015) er der imidlertid flere problemer med denne teori. Først og fremmest mangler teorien empirisk belæg, da der som regel anvendes andre scanningsmetoder end måling på enkeltceller. Resultater fra disse mere upræcise metoder kan ikke skelne neuroner med spejlfunktion fra motoriske- og sensoriske neuroner, der

ligger tæt op ad hinanden. Dette italesættes også af Baird, Scheffer, & Wilson (2011), som fremhæver fire observationsstudier, hvor fMRI scanninger har været anvendt til at undersøge spejlneuroner i relation til empati. Resultaterne er ikke entydige og studierne kritiseres for at have metodiske fejl, der yderligere svækker studierne konklusioner. Ligeledes fremhæver Baird et al. (2011), at dette overlap ikke nødvendigvis har noget med empati at gøre, da det måske blot afspejler opmærksomhed og generelle processer i forbindelse med følelsen af ubehag samt kamp/flugt relaterede vurderinger.

Endvidere fremhæver Lamm og Majdandžić (2015), at studier, hvor der er målt spejlneuronsaktivitet hos aber, ofte har haft fokus på observationen af handlinger, og ikke på hvordan aben *føler* i forbindelse med observationen. Videre argumenterer de for, at empati ikke er afhængig af observationen af andre. Eksempelvis er det muligt at føle empati som følge af at læse en rørende historie.

Såvel Baird et al. (2011) som Lamm og Majdandžić (2015) konkluderer, at der er manglende empirisk belæg for, at spejlneuroner skaber empati. Udtrykket 'at spejle' kan bruges som en meningsfuld analogi for den proces, hvor emotionelle oplevelser observeret hos andre konstrueres i observatøren, men der tages afstand fra, at spejlneuroner spiller en kausal rolle i oplevelsen af empati.

3. IMITATION

Gallese et al. (2011) påpeger, at spejlneuroner anses for at gøre mennesker i stand til at imitere andre, da de både er aktive når en handling observeres og når den udføres. Ifølge Gallese et al. (ibid.) er denne teori opstået på baggrund af en udbredt fejlcitering af fire studier (Fadiga, Fogassi, Pavesi, & Rizzolatti, 1995; Grafton, Arbib, Fadiga, & Rizzolatti,

1996; Iacoboni et al., 1999; Rizzolatti et al., 1996).

Grafton et al. (1996) og Rizzolatti et al. (1996) fandt *ikke* en lignende aktivering i menneskehjernen, som den der blev observeret i makak-abehjernen under imitationsopgaver. Ligeledes rapporterede Fadiga et al. (1995), at deres resultater ikke understøttede teorien. Alligevel er disse tre studier ifølge Gallese et al. (2011) blevet anvendt i hundredvis af efterfølgende artikler som belæg for teorien, til trods for at de tre artikler påpeger det modsatte. Det fjerde fremhævede studie er et fMRI-studie af Iacoboni et al. (1999), hvor forsøgspersonernes hjerne blev scannet, imens de skulle observere og imitere en bevægelse. Validiteten i dette studie anfægtes af Gallese et al. (2011), fordi det ikke er overraskende, at der kunne måles aktivitet i områder associeret med observation, både når forsøgspersonen observerede og imiterede. Dette skyldes, at forsøgspersonerne skulle imitere *samtidig* med, at de observerede. Resultaterne kan derfor ikke bruges som belæg for påstanden om, at spejlneuroner gør mennesker i stand til at imitere.

4. AUTISMESPEKTRUMSFORSTYRRELSE

Efter opdagelsen af spejlneuroner og deres antagne funktion i forhold til at være grundlaget for at kunne føle empati og imitere andre, opstod *the broken mirror hypothesis* (TBMH), hvor udvikling af ASF blev forklaret ved, at denne gruppe mennesker enten manglede eller havde fejlfyldte spejlneuroner. Ifølge Gallese et al. (2011) er der imidlertid flere problemer med denne forklaring. Først og fremmest kan der stilles spørgsmålstejn ved antagelsen om, at spejlneuroner spiller en rolle for empati og imitation. Derudover virker det usandsynligt jf Gallese et al., at noget så komplekst og alsidigt som ASF kan

forklares med et fejlbelagt motorisk system. Endnu mere usandsynligt er det, at det kan forklares med fejl i enkeltneuroner.

Derudover påpeger Gallese et al. (ibid.), at de to studier (Dapretto et al., 2006; Oberman et al., 2005), som har været mest prominente i udbredelsen af TBMH, har metodiske fejl, og til trods for flere senere undersøgelser har resultaterne ikke kunnet gentages af andre (Fan, Decety, Yang, Liu, & Cheng, 2010; Martineau, Andersson, Barthélemy, Cottier, & Destrieux, 2010; Raymaekers, Wiersema, & Roeyers, 2009; Williams et al., 2006).

I modsætning til dette fremhæves det, at der findes et væld af studier, hvis resultater taler *imod* antagelserne om TBMH.

Hvad angår evnen til imitation hos mennesker med ASF påpeger Gallese et al. (2011), at resultater fra studier, som peger på en nedsat imitationsevne hos mennesker med ASF, har væsentlige metodiske problemer, hvorfor der stilles spørgsmålstegn ved resultaternes validitet. Det drejer sig fx om anvendelsen af en procedure som kaldes *intentionel imitation*, hvor observatøren skal gøre som eksperimentatoren, når denne siger "gør sådan". I sådanne procedurer klarer mennesker med ASF sig ofte dårligere end kontrolgruppen. Det påpeges dog, at denne procedure er så kognitivt krævende, at den ikke giver et ordentligt billede af personens imitationsevne. Proceduren stiller således krav til, at testpersonen kan afkode hvilke dele af eksperimentatorens bevægelser der skal kopieres, samt at testpersonen er motiveret til at udføre handlingen og i stand til at opretholde opmærksomheden. I en anden type imitationstest, kaldet *automatisk imitation*, ved testpersonen på forhånd, hvilken bevægelse der skal imiteres som fx at bevæge sin hånd, når de ser eksperimentatoren bevæge sin hånd. Ved denne testtype klarer mennesker med ASF sig lige så godt

eller bedre end kontrolgrupper. Resultaterne fra sådanne tests taler derfor imod TBMH.

Evidensgrundlaget for TBMH er uden undersøgelse i et systematisk review af Hamilton (2013), hvor 25 forskningsartikler opfyldte inklusionskriterierne. De inkluderede artikler beskrev primærstudier, hvori der blev anvendt forskellige neurovidenskabelige metoder til at undersøge TBMH. De inkluderede artikler blev grupperet ud fra, hvilken metode der var blevet anvendt. Evidensgrundlaget for TBMH blev således analyseret inden for hver tilgang, for derefter at blive sammenholdt. Metoderne omfatter EEG, MEG, EMG, TMS, eyetracking, fMRI og MRI.

I de studier hvor der blev anvendt hhv. EEG, MEG og EMG blev der ikke frembragt klar evidens for abnormaliteter i de observerede hjerneområder hos mennesker med ASF.

Resultaterne fra studier, som anvendte TMS, tyder på en abnormalitet hos mennesker med ASF, men det er meget uklart, om dette har noget at gøre med forekomsten og funktionen af spejlneuroner.

Ifølge de studier, hvor der blev anvendt eyetracking, følger mennesker med ASF håndbevægelser på samme måde som normal fungerende. Hvis denne evne tolkes som værende afhængig af velfungerende spejlneuroner, taler resultaterne således imod TBMH.

Studierne som har anvendt fMRI finder ikke direkte evidens for spejlneuroner. Dette skyldes delvist at eksperimenterne anvender stimuli som må antages at aktivere mange dele af hjernen, som ikke har noget at gøre med spejlneuroner. Derudover finder nogle af studierne ikke abnormaliteter hos mennesker med ASF.

MRI scanninger af hjernens masse har vist, at der er forskelle i hjernens strukturer hos mennesker med ASF i forhold til

mennesker uden. Der er dog ikke væsentlige forskelle i de strukturer, som antages at indeholde spejlneuroner.

På baggrund af Hamilton's (2013) review er der således ikke evidens for TBMH. Overordnet set er det desuden en væsentlig begrænsning, at ingen af de anvendte metoder kan sige noget præcist om, hvad der aktiveres i hjernen. De kan med andre ord ikke skelne enkeltneuroner fra hinanden. Reviewet giver således heller ikke nogen grund til at tro, at ASF kommer af manglende eller defekte spejlneuroner. Det fremhæves derfor, at interventioner baseret på TBMH, sandsynligvis vil være ineffektive.

5. FORSTÅELSE FOR HANDLINGER

Rizzolatti et al. (1996) foreslog, at spejlneuroner er vigtige for at mennesker kan forstå observerede handlinger. Denne hypotese blev testet af Michael et al. (2014) der undersøgte, hvilken betydning præmotorisk cortex har for forståelsen af handlinger. For at undersøge dette 'slukkede' forskerne for dele af forsøgspersonernes præmotoriske cortex ved hjælp af *continuous theta-burst stimulation* (cTBS), som kan hæmme aktiviteten i de ydre corticale lag i ca. 20 minutter. I dette studie var der fokus på hånd- og mundbevægelser. Derfor var det de dele af præmotorisk cortex, hvor disse områder er repræsenteret, som blev 'slukket'. Der deltog 20 forsøgspersoner i studiet, og de blev præsenteret for forskellige prøver med forskellig sværhedsgrad, hvor de skulle koble handlinger sammen med objekter. Et eksempel på en prøve i den svære ende er et billede af en fjernbetjening, en hammer og en mobiltelefon med knapper, efterfulgt af en hånd som laver en "tryk-på-en-knap" bevægelse og til sidst et billede af en TV-stue. Her er der to objekter, som passer til bevægelsen, men kun ét af

dem passer til konteksten. Forsøgspersonen skal så vælge det objekt, som passer til den observerede handling og kontekst – i dette tilfælde var det fjernbetjeningen. Michael et al. (ibid.) kunne påvise, at forsøgspersonernes evne til at koble objekt, handling og kontekst korrekt sammen blev forværret af cTBS. De argumenterer for, at resultaterne understøtter antagelsen om, at præmotorisk cortex spiller en kausal rolle for evnen til at forstå observerede handlinger af hånd- og mundbevægelser. De påpeger dog, at resultaterne ikke understøtter nogen specifik teori angående den neurale population i dette område. Det vil sige, at resultaterne hverken kan be- eller afkræfte hypotesen om, at eventuelle spejlneuroner i dette område spiller en kausal rolle for forståelsen af handlinger. Denne hypotese er sidenhen undersøgt i et review af Catmur (2015). Her undersøges det først og fremmest om det er muligt at vide noget om andres intentioner ved at observere deres handlinger. Derefter undersøges det empiriske grundlag for at spejlneuroner fører til denne forståelse. Catmur (ibid.) påpeger, at der kan ses kinematiske forskelle på personers handlinger alt efter, hvad deres intention er med handlingen. Eksempelvis tager testpersoner fat om en flaske på forskellig vis, alt efter om hensigten er at flytte flasken eller hælde indholdet fra flasken op. Deres kinematiske profil afhænger således af hensigten med bevægelsen. Det påpeges, at nogle studier tyder på, at en observatør er i stand til at gætte hensigten med en bevægelse ud fra en aktørs kinematiske profil, men samtidig er der enkelte studier, der påviser det modsatte. Catmur (ibid.) fremhæver dog, at disse studier ikke kontrollerede for, om observatørerne bemærkede forskellen i den kinematiske profil. Overordnet tyder de samlede resultater således på, at observatører er i stand til at forstå hensigten med bevægelser ud fra

den observerede kinematiske profil. Catmur (2015) fremhæver to teorier som forklaring herpå. Ifølge den ene teori opstår forståelsen af de bagvedliggende intentioner af en bevægelse på baggrund af en direkte proces, hvor spejlneuroner skaber denne forståelse. Ifølge den anden teori opstår forståelsen derimod ved, at flere hjernenetværk kommunikerer sammen for at skabe forståelsen. Catmur (ibid.) fortsætter sit review ved at undersøge evidensgrundlaget for disse to teorier. Her fremhæves det blandt andet, at studier som har undersøgt, hvor hurtigt observatører kan gætte hensigten med en aktørs handling, ikke taler for tilstedeværelsen af et hurtigt og simpelt spejlneuronssystem, som ville være tilfældet i den førstnævnte teori. Derimod taler disse studier for, at forståelsen sker på baggrund af kommunikation mellem hjernenetværk, som fremhævet i den anden teori. Endvidere påpeges det, at det endnu ikke er undersøgt direkte, om spejlneuroner spiller en kausal rolle for forståelsen af andres intentioner. Det empiriske grundlag tyder dog på, at områder som præmotorisk cortex spiller en rolle for denne forståelse. Her henvises der blandt andet til Michael et al. (2014), som er beskrevet tidligere i denne artikel. Konklusionen på gennemgangen er, at der på nuværende tidspunkt ikke foreligger evidens, som taler for en direkte rute, hvor spejlneuroner skaber forståelsen for andres handlinger. Det kan dog antages, at eventuelle spejlneuroner er en del af det sensoriske netværk, hvor den interne kommunikation blandt flere hjernenetværk skaber denne forståelse.

Diskussion

I dette state-of-the-art review har jeg præsenteret ni videnskabelige artikler, som diskuterer forskellige teorier om spejlneuroner.

Neuroner, som udviser spejlneuronsaktivitet,

er primært observeret i motoriske områder i abehjernen. Hos mennesker er der ligeledes observeret spejlneuroner i motoriske områder samt i tindingelappen. Disse observationer er gjort ved hjælp af direkte målinger på enkeltceller (Kilner & Lemon, 2013; Mukamel et al., 2010). Ifølge Molenberghs et al. (2012) kan der desuden findes spejlneuroner i isse- og nakkelappen hos mennesker. Eftersom dette konkluderes på baggrund af fMRI scanninger, er det ifølge Kilner og Lemon (2013), Lamm og Majdandžić (2015) og Michael et al. (2014) usikkert, om der faktisk er tale om spejlneuronsaktivitet. Det vides derfor ikke med sikkerhed, om der findes egentlige spejlneuroner i disse områder.

At spejlneuroner gør mennesker i stand til at føle empati er en teori, der umiddelbart kan synes at give god mening. Der er dog flere problemer med denne teori. Først og fremmest er der ikke enighed om definitionen af selve begrebet 'empati'. Derudover kan der stilles spørgsmålstejn ved antagelsen om, at det er nogle få, enkelte neuroner som skaber dette komplekse fænomen. Selvom der er observeret neuroner med spejlneuronsfunktion hos mennesker (Mukamel et al., 2010), er der ikke foretaget enkeltcellemålinger i forsøg, der har fokuseret på empati. Derimod er der primært anvendt fMRI. Der er derfor ikke påvist nogen direkte sammenhæng mellem spejlneuroner og evnen til at føle empati. Baird et al. (2011) og Lamm og Majdandžić (2015) fremhæver, at denne teori ikke er plausibel.

Hvad angår spejlneuroner og imitation fremhæver Gallese et al. (2011) flere problemer, som særligt drejer sig om metodiske udfordringer i studier samt fejlciteringer. De metodiske udfordringer kommer af, at studierne ofte laver scanninger, hvor personer først

observerer, og derefter imiterer imens de observerer. At der er overlap i hjerneområder i disse to situationer kan ikke utvetydigt tilskrives tilstedeværelsen af spejlneuroner. I stedet er der sandsynligvis blot tale om, at det er det samme sensoriske netværk som aktiveres, eftersom testpersonerne observerer i begge tilfælde. Da studierne har anvendt scanningsmetoder, som ikke måler på enkelt-celleaktivitet, er resultaterne endnu sværere at tolke klart. Derudover har gentagne fejl citeringer af de fire hyppigst citerede studier inden for dette område ført til flere misforståelser. Ifølge Gallese et al. (2011) er der ikke tydelig evidens for, at spejlneuroner er nødvendige for evnen til imitation.

Skyldes ASF en mangel på spejlneuroner? Også denne teori kan virke indlysende, når de andre teorier om spejlneuroner tages i betragtning. Dog har den flere mangler. Delvist virker det usandsynligt at noget så komplekst og alsidigt som en autismeforstyrrelse kan skyldes manglen på enkelt-neuroner i det motoriske system meget lig teorien om spejlneuroner og empati. Derudover taler evidensgrundlaget primært imod *the broken mirror hypothesis*, delvist fordi replikationsstudier finder negative resultater, og delvist fordi andre studier har vist, at mennesker med ASF er i stand til at udføre imitationsopgaver, som de ikke burde være i stand til ifølge *the broken mirror hypothesis* (Gallese et al., *ibid.*; Hamilton, 2013).

Den eneste teori om spejlneuroner funktion, der kan understøttes ud fra denne gennemgang, er teorien om, at spejlneuroner spiller en rolle i forbindelse med evnen til at forstå hensigten med observerede handlinger. Belægget for denne teori er dog ikke solidt, da forsøget af Michael et al. (2014) ikke kontrollerede for funktionen i enkelt-neuroner

i præmotorisk cortex. Det kan derfor ikke siges med sikkerhed, at den forringede evne til at forstå hensigten med observerede handlinger kom af 'slukkede' spejlneuroner eller af en generelt nedsat funktion i præmotorisk cortex. Ifølge Catmur (2015) virker det mere sandsynligt, at handlingsforståelse opstår på baggrund af kommunikation blandt flere netværk i hjernen og ikke blot gennem spejlneuroner. Det er dog muligt, at spejlneuroner spiller en rolle i denne kommunikation, og således er medvirkende til at skabe handlingsforståelse hos observatører.

Både Ramachandran (2011) og Bauer (2006) har fremhævet spejlneuroner som forklaringsgrund på evnen til at føle empati og manglen på spejlneuroner som forklaring på, hvorfor nogle mennesker har ASF. Begge publikationer er populærvidenskabelige bøger, og argumenterne for spejlneuroner funktion præsenteres på baggrund af tolkninger af andres forskning, hvorfor deres påstande bør tolkes varsomt. Resultaterne fra de inkluderede artikler i dette review understøtter desuden ikke disse teorier, hvilket i endnu højere grad gør dem spekulative.

I henhold til Rizzolatti et al. (1996) spiller spejlneuroner en vigtig rolle for at kunne forstå hensigten med andres handlinger. Ud fra denne gennemgang kan der argumenteres for, at der er en vis grad af evidens for denne teori (Michael et al., 2014). Der er dog ikke tale om direkte evidens, eftersom studiet af Michael et al. (*ibid.*) ikke omhandlede enkeltceller, men i stedet inddrog større dele af præmotorisk cortex. Det kan antages, at spejlneuroner fungerer som del af et større netværk, hvorigennem forståelsen af andres handlinger skabes (Catmur, 2015).

Så hvilken betydning har resultaterne af denne gennemgang for musikterapi?

Hvad angår den kliniske anvendelighed af musikterapi har det ikke den store betydning. Musikterapi er stadig en velafprøvet metode til at opøve turtagning, kommunikation og interaktion fx hos mennesker med ASF (Geretsegger, Elefant, Mössler, & Gold, 2014), uanset om det skyldes spejlneuroner eller ej. Teoretisk set har det imidlertid betydning for, hvordan vi kan forstå og forklare denne effekt, hvilket kan præge fremtidig klinisk praksis samt forskning. Det er derfor stadig relevant at undersøge musikterapi ud fra et neurovidenskabeligt perspektiv (Hillecke et al., 2005). Ud fra ovenstående gennemgang er der ikke belæg for at kunne forklare musikterapiens evne til at fremme turtagning, kommunikation og interaktion ud fra teorier om spejlneuroner. Det kan derfor ikke anbefales på nuværende tidspunkt at forklare effekten af musikterapi ud fra teorier om spejlneuroner. Som nævnt i indledningen findes der allerede mange neurovidenskabelige studier, hvis resultater kan give teoretiske og empiriske forklaringer på forskellige effekter af musikterapi. Som det ser ud nu, er teorien om spejlneuroner ikke heriblandt.

Resultaterne af denne gennemgang bør ses i lyset af, at der er tale om et state-of-the-art review. Gennemgangen kan eksempelvis kritiseres for kun at inkludere ni artikler i den endelige analyse. Det kan ikke udelukkes, at der er udgivet andre gennemgange eller primærstudier, som i højere grad understøtter teorierne om spejlneuroner. Ligeledes kan det ikke udelukkes, at en bredere søgning, som også ville inkludere primærstudier, kunne afdække ny og relevant viden, som endnu ikke er præsenteret i reviews.

Konklusion

Viden om hjernen kan lede til en større forståelse for virkningen af musikterapi og

musikterapiens terapeutiske mekanismer. Denne viden kan føre til udviklingen af effektive metoder samt fungere som argument for, hvorfor musikterapi er en effektiv behandlingsform i mange situationer. Samtidig er hjernen så komplekst et organ, at det kan være svært at forstå fuldt ud, hvordan den fungerer. Derfor er det vigtigt både at være ydmyg omkring anvendelsen af neuropsykologiske teorier, samt at forholde sig åben og kritisk hertil.

Teorier om spejlneuroner er populære og kan ofte virke som gode, indlysende forklaringer på forskellige fænomener. De ni artikler inkluderet i dette review modsiger overordnet set disse teorier. Ud fra disse artikler er der ikke belæg for, at spejlneuroner er vigtige for evnen til at føle empati eller til at imitere andres bevægelser, og der er ikke belæg for, at mennesker med ASF har fejl i eller mangler spejlneuroner. Der er belæg for, at områder i præmotorisk cortex er vigtige for at kunne forstå andres handlinger, men det vides ikke, om det skyldes spejlneuroner. Indtil nu har kun ét studie kunne påvise tilstedeværelsen af spejlneuroner i enkelte dele af menneskehjernen, men det vides endnu ikke, hvilken funktion disse spejlneuroner har, eller om de findes andre steder. For at styrke teorierne om spejlneuroner bør fremtidig forskning anvende mindre tvetydige metoder som enkeltcellemåling, samt opstille eksperimenter som kan undersøge kausale forhold mellem spejlneuroner og deres funktioner.

Litteratur

- Baird, A. D., Scheffer, I. E., & Wilson, S. J. (2011). Mirror neuron system involvement in empathy: a critical look at the evidence. *Social Neuroscience*, 6(4), 327-35.
- Bauer, J. (2006). *Hvorfor jeg føler det du føler – intuitiv kommunikation og hemmeligheden ved*

- spejlneuroner. Valby, DK: Borgens Forlag.
- Bjarkam, C. R. (2013). Nervesystemets opbygning, celler og funktion. In H. B. Vuust (Ed.), *Hjernen – fra celle til samfund* (pp. 14-34). Aarhus: DK: Systime.
- Boso, M., Politi, P., Barale, F., & Emanuele, E. (2006). Neurophysiology and neurobiology of the musical experience. *Functional Neurology*, 21(4), 187-191.
- Breedlove, S. M., & Watson, N. V. (2013). *Biological psychology. An introduction to behavioral, cognitive, and clinical neuroscience* (7th ed.). Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates.
- Catmur, C. (2015). Understanding intentions from actions: Direct perception, inference, and the roles of mirror and mentalizing systems. *Consciousness and Cognition*, 36, 426-433.
- Chanda, M. L., & Levitin, D. J. (2013). The neurochemistry of music. *Trends in Cognitive Sciences*, 17(4), 179-191.
- Christodoulou, J. A., & Gaab, N. (2009). Using and misusing neuroscience in education-related research. *Cortex*, 45(4), 555-557.
- Dapretto, M., Davies, M. S., Pfeifer, J. H., Scott, A. A., Sigman, M., Bookheimer, S. Y., & Iacoboni, M. (2006). Understanding emotions in others: mirror neuron dysfunction in children with autism spectrum disorders. *Nature Neuroscience*, 9(1), 28-30.
- Di Pellegrino, G., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (1992). Understanding motor events: a neurophysiological study. *Experimental Brain Research*, 91(1), 176-180.
- Fadiga, L., Fogassi, L., Pavesi, G., & Rizzolatti, G. (1995). Motor Facilitation During Action Observation: A Magnetic Stimulation Study. *Journal of Neurophysiology*, 73(6), 2608-2611.
- Fan, Y.-T. T., Decety, J., Yang, C.-Y. Y., Liu, J.-L. L., & Cheng, Y. (2010). Unbroken mirror neurons in autism spectrum disorders. *J Child Psychol Psychiatry*, 51(9), 981-8.
- Gallese, V., Gernsbacher, M. a., Heyes, C., Hickok, G., & Iacoboni, M. (2011). Mirror Neuron Forum. *Perspectives on Psychological Science*, 6(4), 369-407.
- Geretsegger, M., Elefant, C., Mössler, K., & Gold, C. (2014). Music therapy for people with autism spectrum disorder (Review). *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (6), 66.
- Grafton, S. T., Arbib, M. A., Fadiga, L., & Rizzolatti, G. (1996). Localization of grasp representations in humans by positron emission tomography. *Experimental Brain Research*, 112(1), 103-111.
- Hamilton, A. F. D. C. (2013). Reflecting on the mirror neuron system in autism: A systematic review of current theories. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 3(1), 91-105.
- Hamilton, A. F. D. C., Brindley, R. M., & Frith, U. (2007). Imitation and action understanding in autistic spectrum disorders : How valid is the hypothesis of a deficit in the mirror neuron system? *Neuropsychologia*, 45(8), 1859-1868.
- Hartwigsen, G., Kassuba, T., & Sieber, H. R. (2010). Combining transcranial magnetic stimulation with (f)MRI. In S. Ulmer & O. Jansen (Eds.), *fMRI: Basics and clinical applications* (pp. 155-168). Berlin, DE: Springer Publishing Company.
- Herculano-Houzel, S., Collins, C. E., Wong, P., & Kaas, J. H. (2007). Cellular scaling rules for primate brains. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 104(9), 3562-3567.
- Hillecke, T., Nickel, A., & Bolay, H. V. (2005). Scientific perspectives on music therapy. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1060, 271-282.
- Iacoboni, M., Woods, R. P., Brass, M., Bekkering, H., John, C., Rizzolatti, G., ... Brass, M. (1999). Cortical Mechanisms of Human Imitation. *Science*, 286(5449), 2526-2528.
- Jarrett, C. (2015). *Great Myths of the Brain*. West Sussex: Wiley.
- Jarrett, C. B. (2012). Mirror neurons: the most hyped concept in Neuroscience? Retrieved

- October 25, 2016, from <http://www.psychologytoday.com/blog/brain-myths/201212/mirror-neurons-the-most-hyped-concept-in-neuroscience.%0A5>.
- Kilner, J. M., & Lemon, R. N. (2013). What we know currently about mirror neurons. *Current Biology*, 23(23), 1057-1062.
- Koelsch, S. (2009). A neuroscientific perspective on music therapy. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169, 374-384.
- Kolb, B., & Whishaw, I. Q. (2009). *Fundamentals of human neuropsychology* (6th ed.). New York, NY: Worth Publishers.
- Lamm, C., & Majdandzic, J. (2015). The role of shared neural activations, mirror neurons, and morality in empathy – A critical comment. *Neuroscience Research*, 90, 15-24.
- Levitin, D. J. (2013). Neural correlates of musical behaviours. *Music Therapy Perspectives*, 31, 15-24.
- Martineau, J., Andersson, F., Barthélemy, C., Cottier, J. P., & Destrieux, C. (2010). Atypical activation of the mirror neuron system during perception of hand motion in autism. *Brain Research*, 1320, 168-175.
- Michael, J., Sandberg, K., Skewes, J., Wolf, T., Blicher, J., Overgaard, M., & Frith, C. D. (2014). Continuous theta-burst stimulation demonstrates a causal role of premotor homunculus in action understanding. *Psychological Science*, 25(4), 963-72.
- Molenberghs, P., Cunnington, R., & Mattingley, J. B. (2012). Brain regions with mirror properties: A meta-analysis of 125 human fMRI studies. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 36(1), 341-349.
- Mukamel, R., Ekstrom, A. D., Kaplan, J., Iacoboni, M., & Fried, I. (2010). Single-Neuron Responses in Humans during Execution and Observation of Actions. *Current Biology*, 20(8), 750-756.
- O'Kelly, J. (2016). Music Therapy and Neuroscience: Opportunities and Challenges Lessons from Neuroscience. *Voices: A World Forum for Music Therapy*, 16(2), 1-25.
- Oberman, L. M., Hubbard, E. M., McCleery, J. P., Altschuler, E. L., Ramachandran, V. S., & Pineda, J. A. (2005). EEG evidence for mirror neuron dysfunction in autism spectrum disorders. *Cognitive Brain Research*, 24(2), 190-198.
- Ramachandran, V. S. (2011). *The Tell-Tale Brain: A Neuroscientist's Quest for What Makes Us Human*. Norton, New York: W.W. Norton & company.
- Raymaekers, R., Wiersema, J. R., & Roeyers, H. (2009). EEG study of the mirror neuron system in children with high functioning autism. *Brain Research*, 1304, 113-121.
- Rizzolatti, G., Cattaneo, L., Fabbri-Destro, M., & Rozzi, S. (2014). Cortical mechanisms underlying the organization of goal-directed actions and mirror neuron-based action understanding. *Physiological Reviews*, 94(2), 655-706.
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, V., & Fogassi, L. (1996). Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Cognitive Brain Research*, 3(2), 131-141.
- Robson, C., & McCartan, K. (2016). *Real World Research* (4th ed.). West Sussex: Wiley.
- Southgate, V., & Hamilton, A. F. D. C. (2008). Unbroken mirrors : challenging a theory of Autism. *Trends in Cognitive Sciences*, 12(6), 225-229.
- Särkämö, T., Tervaniemi, M., Laitinen, S., Numminen, A., Kurki, M., Johnson, J. K., & Rantanen, P. (2014). Cognitive, emotional, and social benefits of regular musical activities in early dementia: Randomized controlled study. *Gerontologist*, 54(4), 634-650.
- Williams, J. H. G., Waiter, G. D., Gilchrist, A., Perrett, D. I., Murray, A. D., & Whiten, A. (2006). Neural mechanisms of imitation and "mirror neuron" functioning in autistic spectrum disorder. *Neuropsychologia*, 44(4), 610-621.